

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-195878
 (43)Date of publication of application : 19.07.2001

(51)Int.Cl. G11C 11/14
 G11C 11/15
 H01F 10/26
 H01L 27/105
 H01L 43/08

(21)Application number : 2000-281863 (71)Applicant : CANON INC
 (22)Date of filing : 18.09.2000 (72)Inventor : KOGANEI AKIO

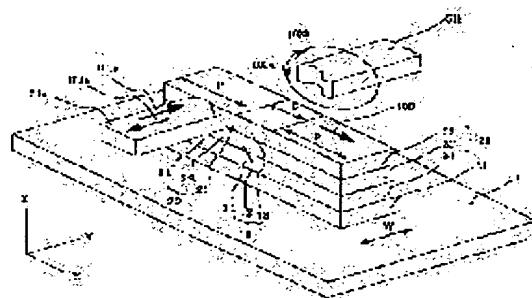
(30)Priority
 Priority number : 11302591 Priority date : 25.10.1999 Priority country : JP

(54) MAGNETIC RESISTANCE EFFECTIVE MEMORY, REPRODUCING METHOD FOR INFORMATION STORED IN THE MEMORY, AND ITS REPRODUCING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a MRAM which can be reproduced without applying positive and negative current pulses and to provide a method for reproducing information of this MRAM and a reproducing device using only a positive pulse or a negative pulse.

SOLUTION: A magnetic resistance effective memory has a magnetic resistance film consisting of a first magnetic layer, a non-magnetic layer, and a second magnetic layer formed on a substrate, a conductor line for recording information arranged near this magnetic resistance film or a conductor line for both recording and reproducing information, and a magnetization fixing layer near a magnetic resistance film. The magnetization of a reproduction layer being one of magnetic layers of a magnetic resistance film is oriented in one direction by this magnetization fixing layer, the center of current magnetic field-MR ratio minor loop is shifted, and reproducing information can be performed by only a positive or negative current pulse.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 20.12.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of

[rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-195878
(P2001-195878A)

(43)公開日 平成13年7月19日 (2001.7.19)

(51)Int.Cl.⁷
G 11 C 11/14
11/15
H 01 F 10/26
H 01 L 27/105
43/08

識別記号

F I
G 11 C 11/14
11/15
H 01 F 10/26
H 01 L 43/08
27/10

テマコード(参考)
A
Z
447

審査請求 未請求 請求項の数16 O.L (全22頁)

(21)出願番号 特願2000-281863(P2000-281863)
(22)出願日 平成12年9月18日 (2000.9.18)
(31)優先権主張番号 特願平11-302591
(32)優先日 平成11年10月25日 (1999.10.25)
(33)優先権主張国 日本 (JP)

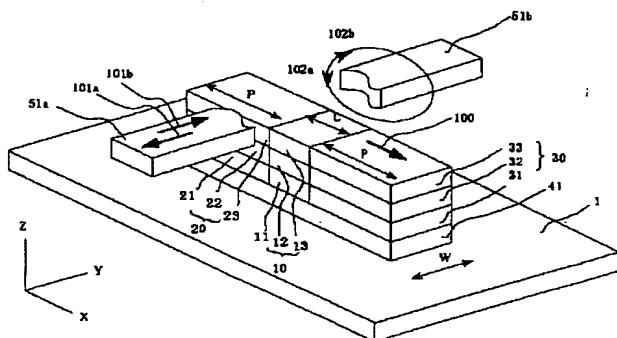
(71)出願人 000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(72)発明者 小金井 昭雄
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内
(74)代理人 100088328
弁理士 金田 暢之 (外2名)

(54)【発明の名称】 磁気抵抗効果メモリ、および、それに記録される情報の再生方法とその再生装置

(57)【要約】

【課題】 正負の電流パルスを印加することなく再生可能なMRAMの提供、ならびに、正または負の電流パルスのみを用いて、このMRAMの情報を再生する方法とそれに用いる再生装置の提供。

【解決手段】 基板上に形成される第1磁性層／非磁性層／第2磁性層からなる磁気抵抗膜と、この磁気抵抗膜近傍に配置された情報記録用の導体線あるいは情報の記録・再生兼用の導体線と、磁気抵抗膜の近傍に磁化固定層を有する磁気抵抗効果メモリ。この磁化固定層によって、磁気抵抗膜の磁性層の一つである再生層の磁化方向を一方向に配向させ、電流磁界-MR比マイナーループの中心を変移させ、正または負の電流パルスのみで、情報の再生を可能とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成される再生層／非磁性層／メモリ層からなる磁気抵抗膜と、前記再生層の磁化方向を磁気的結合力によって一方向に配向させる磁化固定層を有することを特徴とする磁気抵抗効果メモリ。

【請求項2】 前記磁気的結合力が交換結合力であることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【請求項3】 前記磁気的結合力が静磁結合力であることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【請求項4】 前記磁気抵抗膜に対し前記基板と反対側に導体線が配置されていることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【請求項5】 前記非磁性層が導体からなることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【請求項6】 前記非磁性層が絶縁体からなることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【請求項7】 前記磁化固定層が、前記磁気抵抗膜と同じ層構成を有することを特徴とする請求項1-6のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【請求項8】 前記磁化固定層が、前記磁気抵抗膜とは異なる層構成を有することを特徴とする請求項1-6のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【請求項9】 前記磁気抵抗膜の磁化方向が、概ね膜面に対し面内方向であることを特徴とする請求項1-8のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【請求項10】 前記磁気抵抗膜の磁化容易軸方向の長さ s と磁化固定層の長さ P とが、 $P/L > 2.5$ の範囲に選択されていることを特徴とする請求項7に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【請求項11】 前記磁気抵抗膜の磁化方向が、概ね膜面に対し垂直方向であることを特徴とする請求項1-6または8のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【請求項12】 前記磁気抵抗膜と前記磁化固定層との間に導電性を有する非磁性層を設けることを特徴とする請求項11に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【請求項13】 請求項1に記載の磁気抵抗効果メモリに記録される情報を再生する際、前記磁気抵抗膜に一方向の電流磁界を印加し、磁気抵抗変化を検出することにより記録される情報の検知を行なうことを特徴とする再生方法。

【請求項14】 磁性層／非磁性層／磁性層からなる磁気抵抗膜と、前記磁気抵抗膜近傍に配置される導体線と、前記磁気抵抗膜の一つの磁性層の磁化方向を一方向に配向させる磁化固定層とを有する磁気抵抗効果メモリにおいて、前記磁気抵抗膜の二つの磁性層を再生層ならびに情報を記録するメモリ層として用いて、前記導体線に電流を流し、前記メモリ層に記録されている情報の再生を行なう方法において、

前記導体線に正負いずれか一方向のみの電流を流し、前記磁気抵抗膜の領域に前記一方向の電流により磁場を発

させ、

前記再生層の磁化を前記一方向の電流により発生した磁場の方向に配向させ、

前記磁場が印加された状態における前記磁気抵抗膜の抵抗値と前記磁場が印加されていない状態における前記磁気抵抗膜の抵抗値との差異である磁気抵抗変化を検出して、

記録された情報の再生を行なうことを特徴とする再生方法。

10 【請求項15】 前記磁場が印加されていない状態において、前記再生層の磁化が前記磁気抵抗膜の近傍に設けられた前記磁化固定層の磁化方向に配向されることを特徴とする請求項14に記載の再生方法。

【請求項16】 請求項13または14に記載する再生方法に従い、磁気抵抗効果メモリに記録される情報の再生を行なうために用いる一方向の電流を供給する手段と磁気抵抗変化を検出する手段とを具えることを特徴とする再生装置。

【発明の詳細な説明】

20 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気抵抗効果を利用したメモリに関する。さらに詳しくは、その再生時の消費電力が小さく、また、メモリ特性が向上し、周辺回路の高速化とともに好適なコンピュータペリフェラル向けの安価なメモリとして利用可能な磁気抵抗効果メモリとその再生方法、再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】コンピュータや電子機器に利用されるメモリ素子においては、激しい技術開発競争が繰り広げられている。日進月歩のスピードで技術が進展し、様々な新しいメモリデバイスが提案されている。近年、非磁性層を強磁性層の間にはさみ込んだ磁気抵抗膜で巨大磁気抵抗効果(Giant Magneto Resistance)が発見され、この現象を利用した磁気センサー、メモリ素子が注目を集めつつある。以下において磁気抵抗膜を利用したメモリ素子の総称をMRAMとする。

【0003】MRAMでは、二つの強磁性層とその間に挟んだ薄い非磁性層の三層構造が情報を記録する基本構造単位となる。非磁性層をはさみ込んだ、二つの強磁性層の間で、その磁化方向がそろっている場合と反平行な場合とでは、抵抗値が異なる現象を利用して、“0”、“1”的状態を記録する。

【0004】記録されている情報を読み出す際には、書き込みの際より弱い交流磁場を印加して、一方の強磁性層だけ、その磁化方向の向きを変化させ、その際に抵抗値変化を測定して、“0”、“1”的状態を読み出す。

MRAMは、情報が磁気的に記録されるため、放射線耐性に優れ、原理的に不揮発であり高速で書き込み回数の制限がない利点がある。既存の半導体技術を流用することで高密度記録が容易に行えるので、将来的にはDRAM

AMの置き換えが期待される。例えば、特開平06-243673号公報には、メモリ素子として利用に関する提案がなされている。

【0005】MRAMの動作原理を以下に示す。図5(a)は、MRAMの構成を示す図である。基板上に、第1磁性層11、非磁性層12、第2磁性層13、絶縁層80、書き込み線(ワード線)51の順に積層する構成を有している。強磁性層と非磁性層の組み合わせからなる磁気抵抗膜部は多層構造でも良い。

【0006】第1磁性層11と第2磁性層12、この二つの強磁性層は軟磁性材料と硬磁性材料の組み合わせからなり、軟磁性材料が情報を読み出す再生層となり、硬磁性材料が情報を蓄積するメモリ層となる。図5(a)では、第1磁性層11が軟磁性材料を用いた再生層、第2磁性層13が硬磁性材料を用いたメモリ層となっている。基板と第1磁性層11の間にSiNやTa等のバッファー層を設けてもよい。

【0007】MRAMの記録動作は、書き込み線で発生する磁界でメモリ層となる第2磁性層13の磁化の方向を変えることで行われる。

【0008】図5(b)は、“0”を書き込む場合を示している。書き込み線に対し、紙面に垂直方向に裏面から正面に向かって記録電流を流すと、矢印の方向に磁界が発生する。記録する場合は発生する磁界を大きくすることで、再生層である第1磁性層11だけでなく、メモリ層である第2磁性層13の磁化方向も紙面上で右向きに書き込まれる。この状態が“0”である。

【0009】図5(c)は、“1”を書き込む場合を示している。書き込み線に対し、紙面に垂直方向に正面から裏面に向かって記録電流を流すと、矢印の方向に磁界が発生する。記録する場合は発生する磁界を大きくすることで、再生層である第1磁性層11だけでなく、メモリ層である第2磁性層13の磁化方向も紙面上で左向きに書き込まれる。この状態が“1”である。

【0010】一方、再生時には、書き込み線に記録時よりも弱い再生電流パルスを両方向に順番に流すことで再生層の磁化を反転させ、その時の抵抗変化を読み取ることで実現する。

【0011】図5(d)～(g)は、再生動作を示す一連の図である。図5(b)に示すように“0”が記録されている状態において、書き込み線に対し、図5(d)には、初め紙面に垂直方向に正面から裏面に向かって再生電流を流し、図5(e)には、次に逆向きの電流を流した場合における磁性層の磁化方向の変化がそれぞれ示されている。

【0012】図5(d)に示すように、初め、書き込み線に対し紙面に垂直方向に正面から裏面に向かって再生電流を流した時には、矢印の向きに小さな磁界が発生する。この磁界強度では再生層である第1磁性層11は磁化が反転するが、メモリ層である第2磁性層13の磁化

は“0”的方向を保ったままである。図5(e)に示すように、次に、書き込み線に対し紙面に垂直方向に裏面から正面に向かって再生電流を流した時には、矢印の向きに小さな磁界が発生する。この磁界強度では再生層である第1磁性層11は磁化が再反転するが、メモリ層である第2磁性層13の磁化は“0”的方向を保ったままである。

【0013】二つの磁性層の磁化方向に注目すると、初めの紙面に垂直方向に正面から裏面に向かって再生電流を流した時には、第1磁性層11と第2磁性層13の磁化方向は反平行状態である。

【0014】次に書き込み線に対し紙面に垂直方向に裏面から正面に向かって再生電流を流した時には、第1磁性層11と第2磁性層13の磁化方向は平行状態である。従って、二方向に電流パルスを流す間に書き込み線の抵抗変化は反平行状態の高抵抗から平行状態の低抵抗へと変化する。このような高抵抗から低抵抗に抵抗値が変化する状態が“0”であると読み取れる。

【0015】一方、図5(c)に示すように“1”が記録されている状態において、書き込み線に対し、図5(f)には、初め紙面に垂直方向に正面から裏面に向かって再生電流を流し、図5(g)には、次に逆向きの電流を流した場合における強磁性層の磁化方向の変化がそれぞれ示されている。

【0016】図5(f)に示すように、初め、書き込み線に対し紙面に垂直方向に正面から裏面に向かって再生電流を流した時には、矢印の向きに小さな磁界が発生する。この磁界では、再生層である第1磁性層11は磁化方向が変化しないし、メモリ層である第2磁性層13の磁化も“1”的方向を保ったままである。図5(g)に示すように、次に、書き込み線に対し紙面に垂直方向に裏面から正面に向かって再生電流を流した時には、矢印の向きに小さな磁界が発生する。この磁界強度では、再生層である第1磁性層11は磁化が反転するが、メモリ層である第2磁性層の磁化を変化させるには不十分であり“1”的方向を保ったままである。

【0017】二つの磁性層の磁化方向に注目すると、書き込み線に対し、初め紙面に垂直方向に正面から裏面に向かって再生電流を流した時には第1磁性層11と第2磁性層13の磁化方向は平行状態である。次に、紙面に垂直方向に裏面から正面に向かって再生電流を流した時には、第1磁性層11と第2磁性層13の磁化方向は反平行状態である。従って、二方向に電流パルスを流す間に書き込み線の抵抗変化は平行状態の低抵抗から反平行状態の高抵抗へと変化する。このような低抵抗から高抵抗に抵抗値が変化する状態が“1”であると読み取れる。

【0018】以上述べたように、弱い電流パルスを書き込み線に流したときの抵抗変化を読み取ることで記録されている情報が“0”か“1”かを識別することができ

5

る。この記録再生方法は、不揮発、非破壊で高速駆動が可能であることから理想的なメモリ特性が期待できる。前記再生時における磁気抵抗変化を電気的に検出する方法は各種提案されているが、大別すると抵抗値そのもので大小の比較をする絶対検出と、電流を二方向に振った際の抵抗変化が増加方向か減少方向かを判断する差動検出とに分けられる。

【0019】上記の動作説明では書き込み線を使ったメモリの記録・再生方法について説明を行ったが、書き込み線はMRAMの構成要素としては必須ではない。構造によっては、強磁性層の磁化を反転させる磁界の発生には隣接する他の配線を流用することもできる。

【0020】MRAMの構成を用いる材料と磁気抵抗のメカニズムの観点から分類すると、中間層に金属非磁性層を用いたスピンドル型、一方の強磁性層の磁化方向を反強磁性層で固定したスピントンネル型、絶縁体非磁性層を用いたスピントンネル型、その他に、非磁性層中に磁性材料の微粒子を分散したグラニュラー型、ペロブスカイト酸化膜を用いたCMR (Colossal Magnetoresistance) 型などがある。

【0021】スピントンネル型では非磁性層をCu等の金属層として、二つの磁性層間のスピントンネル散乱によりGMRが発現する。すなわち、磁性層の磁化の向きが平行な場合には、磁化と反対方向のスピントンネル電子は散乱されるが、磁化と同じ向きのスピントンネル電子は散乱されず、全体として抵抗が低くなる。逆に、磁性層の磁化の向きが反平行な場合には、磁化と同方向なスピントンネル電子、反対方向のスピントンネル電子のいずれも散乱されるため全体として抵抗が高くなる。そのMR比は、室温で5～10%程度が得られ、電流と磁化の方向で決まる異方性磁気抵抗効果よりは大きいが、スピントンネル型よりは小さい。

【0022】スピナルプ型は、原理的にはスピン散乱と同じだが、一方の強磁性層に反強磁性層を組み合わせることで磁化方向をピン止めしている点が異なる。もう一方の磁性層の磁化方向は自由に回転できる。磁化曲線を取ると磁化方向により非対称な形状となり、ゼロ磁界付近で低抵抗から高抵抗へと線形に変化するため微小磁気をセンシングする磁気センサーに適した構造となっている。現在では、ハードディスクの読み取りセンサーとして実用化されている。

6

【0024】グラニュラー型には、非磁性層として金属を用いたスピントン散乱タイプと、絶縁体を用いたスピントンネルタイプの二種が存在する。先述したスピントン散乱型やスピントンネル型では、各層ごとに役割分担を明確化しているのに対し、グラニュラー型では、マトリクス中に分散した個々の微細磁性粒子のスピントンに依存する形でGMRを発現する点が大きな相違である。Co/A₁₀x系のスピントンネルタイプにおいて、8%程度のMR比が室温で得られている。

20 【0025】 CMR型では、ペロブスカイト構造のMn酸化物をスピン分極率のより高いペロブスカイトMn酸化物で挟み込んだトンネル接合とするタイプや、ペロブスカイト中の層状構造をトンネル接合として利用するタイプなどが存在する。CMR型のスピン分極率は非常に高いため、極低温では400%ものMR比が得られる。

【0026】MRAMに使われる磁性材料を磁化方向で分類すると、膜面に平行な磁化成分を持つ面内磁化膜型と、膜面に垂直な磁化成分を持つ垂直磁化膜型とに分けられる。NiFe, Co等の強磁性体は、磁化方向が膜面に平行な面内磁化膜型であるが、この面内磁化膜では磁性体の微細化が進むと磁極同士が近づいて反磁界が大きくなるため、磁化のカーリング現象が起きるという問題がある。カーリングが発生すると、磁化の方向を判別することが困難になる。そのため、面内磁化膜を用いたMRAMでは形状異方性をつけるため、メモリセルとなる強磁性層を平面的に見て長軸を持つ形状（長方形など）とする必要がある。長方形の長軸と短軸の比は、少なくとも2倍以上必要だと予想される。従って、カーリング現象防止のために、メモリセルのサイズが制約を受け、集積度向上の阻害要因となる。

【0027】一方、強磁性層として TbFe, TbFeCo, GdFe 等の希土類一遷移金属からなるフェリ磁性体を用いる場合、これら磁性体の垂直磁気異方性が高いため、膜厚と組成によっては、磁化を膜面に対し垂直方向に持つ垂直磁化膜となる。垂直磁化膜の場合には、磁化の方向は、形状的に最も反磁界が大きい膜面垂直方向を向いており、垂直磁気異方性を示す時点で既に最大の反磁界係数に打ち勝っていることになる。つまり、面内磁化膜のようにメモリセルを長方形とする必要がなく、メモリセルの平面形状を正方形とすることができ

る。さらに、素子を微細化すると、磁化容易軸である膜厚方向と比べ、平面的な面積が小さくなるので、形状異方性の観点では、磁化のカーリングがより起きにくい方向になる。そのため、垂直磁化膜型は、メモリセル部の集積度を向上する上では、面内磁化膜型と比べ有利である。

【0028】MRAMに対する電流の流し方、あるいは電極の配置の仕方により、電流の方向が膜面に対し、平行なCIP (Current In Plane) と、垂直なCPP (Current Perpendicular to the Plane) とに大別される。図6に、それぞれの電極構造を示す。

【0029】図6 (a) に示すように、CIPは、第1磁性層／非磁性層／第2磁性層からなるメモリセルの両側面にセンス層がついた構造であり、センス電流は膜面に平行に流れる。図6 (a) 中、センス層の一方は点線で図示している。CIPでは、スピントンネル型の磁気抵抗膜を用いる。その場合、1セルの抵抗はシート抵抗で10Ω程度、センス線のシート抵抗は0.05Ωとなる。また、磁気抵抗変化率は5～10%程度とスピントンネル型と比較して小さい。CIP構造で多数のセルをセンス線に直列接続して、その両端で信号検出する場合、繋がっている多数セルの抵抗値を合算した合成抵抗に対して、1つのセル分の抵抗変化を信号とするため、高いSNを達成するのは容易ではない。

【0030】図6 (b) に示すように、CPPは、第1磁性層／非磁性層／第2磁性層からなるメモリセルの上下にセンス線がついた構造である。センス電流は、上下のセンス線間を、膜面に垂直方向に流れる。図6 (b) 中、上部センス層は点線で示している。CPPでは、スピントンネル型の磁気抵抗膜を用いるのが良く、その場合、1セルの抵抗は数kΩから数十kΩ程度の範囲であり、センス線に比べて抵抗値が大きい。また、磁気抵抗変化率も10～30%程度となり、スピントンネル型と比較して大きい。すなわち、磁気抵抗膜をセンス線に接続しても十分大きな抵抗変化が得られ、よって高いSNが得られる。

【0031】このCPP構造ではセンス線の交差点にセルを配置するため、セルを多数配置する場合、各々のセルは並列に接続される。この構成では、特定のセルの抵抗を検出する場合、そのセルに交差するセンス線に電流を流すことにより、他のセルの影響をあまり受けずに検出を行うことができるため、CIP構造と比べSNは高くなる。従って、CIP構造と比べ、CPP構造の方が1列のセンス線に接続可能なセル数が多く大規模なマトリクスを容易に形成することができる。つまりメモリ素子として多数のメモリセルを並べて駆動することを考えた場合には、CIP構造よりCPP構造の方が有利である。

【0032】

【発明が解決しようとする課題】MRAMにおいて差動

検出を利用する際には、正負の電流を交互に流した時の抵抗変化を微分検出することで”0”か”1”を識別する。正負の電流を発生するためにはバイポーラ電源が必要となる。高速のバイポーラ機能を実現する上では、電流の向きを反転させるために幾つかのスイッチを高速に正確なタイミングで切り替えることが重要である。タイミングにずれが生じると電流波形にリングやオーバーシュートが起きる。これらは誤動作の原因となるため極力抑制しなければならない。リングやオーバーシュートを抑制するためには遅延要素となる配線容量や負荷抵抗等を考慮した電源回路の最適化が不可欠で、スイッチング機能実現のためのトランジスタ増設と併せ電源回路の占めるスペースが増大しメモリとしての集積度を向上する上で問題となる。集積度を向上させる弊害となるためメモリのピット当たり単価を高くする要因ともなる。

【0033】最近、固体メモリの利用分野としてテープ媒体を利用したウォークマンタイプのヘッドホンステレオに代わりMP3プレーヤーが注目されている。MP3プレーヤーに応用すると耐震性、耐久性、小型化等の観点で固体メモリの利点がフルに發揮される。加えて、機械的な駆動部分を必要とせず、低消費電力の利点も生かせる。また、CD、MDなどで供給されている再生専用のソースに代えて、固体メモリを用いた再生専用のソースの供給がなされると想定される。

【0034】MRAMも、こうした再生専用ニーズに利用する場合が相当数あると考えられるが、その普及を図る際、上述するような再生に用いる専用バイポーラ電源のスペース・コストは無視できないものとなる。

【0035】MRAMの信号再生が、正負いずれか一方の電流パルスを流すことで実現できれば上記の問題は解決する。再生を行う際に導体線に加える電源回路にバイポーラ機能が不要になれば回路構成を単純化でき、加えて製造コストも下がる。また、集積度向上の制約がなくなり、ピット当たり単価の低減を容易に進めることができるとなる。このような要望はあるものの正負いずれか一方の電流を使っての信号再生は実現されていなかった。

【0036】本発明は前記の課題を解決するもので、本発明の目的は、正負の電流パルスを印加することなく再生可能なMRAMの提供、ならびに、正または負の電流パルスのみを用いて、このMRAMの情報を再生する方法とそれに用いる再生装置を提供することにある。それにより、MRAM特性を向上し、周辺回路の高速化と共に好適なコンピュータペリフェラル向けの安価なメモリを実現することを目的とする。

【0037】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記課題に解決すべく鋭意研究をした結果、正負の電流パルスを印加することなく再生可能なMRAMを作製し、それにより、MRAM特性を向上し、周辺回路の高速化と共に

より好適なコンピュータペリフェラル向けの安価なメモリを実現可能とした。すなわち、本発明は、下記する(1)～(12)の各項に記載する構成を有する磁気抵抗効果メモリ、また、(13)～(15)の各項に記載する、かかる磁気抵抗効果メモリに記録される情報の再生方法、ならびに(16)項に示す再生装置である。

【0038】(1) 基板上に形成される第1磁性層／非磁性層／第2磁性層からなる磁気抵抗膜と、前記第1磁性層もしくは第2磁性層の磁化方向を磁気的結合力によって一方向に配向させる磁化固定層とを有することを特徴とする磁気抵抗効果メモリ。

【0039】(2) 前記磁気的結合力が交換結合力であることを特徴とする項(1)に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【0040】(3) 前記磁気的結合力が静磁結合力であることを特徴とする項(1)に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【0041】(4) 前記磁気抵抗膜に対し前記基板と反対側に導体線が配置されていることを特徴とする項(1)に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【0042】(5) 前記非磁性層が導体からなることを特徴とする項(1)に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【0043】(6) 前記非磁性層が絶縁体からなることを特徴とする項(1)に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【0044】(7) 前記磁化固定層が、前記磁気抵抗膜と同じ層構成を有することを特徴とする項(1)～(6)のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【0045】(8) 前記磁化固定層が、前記磁気抵抗膜とは異なる層構成を有することを特徴とする項(1)～(6)のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【0046】(9) 前記磁気抵抗膜の磁化方向が、概ね膜面に対し面内方向であることを特徴とする項(1)～(8)のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【0047】(10) 前記磁気抵抗膜の磁化容易軸方向の長さLと磁化固定層の長さPとが、 $P/L > 2.5$ の範囲に選択されていることを特徴とする項(7)に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【0048】(11) 前記磁気抵抗膜の磁化方向が、概ね膜面に対し垂直方向であることを特徴とする項(1)～(6)または(8)のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【0049】(12) 前記磁気抵抗膜と前記磁化固定層との間に導電性を有する非磁性層を設けたことを特徴とする項(11)に記載の磁気抵抗効果メモリ。

【0050】(13) 項(1)に記載の磁気抵抗効果メモリに記録される情報を再生する際、前記磁気抵抗膜に対して一方向の電流磁界を印加し、磁気抵抗変化を検出することにより記録される情報の検知を行なうことを特徴とする再生方法。

【0051】(14) 磁性層／非磁性層／磁性層から

なる磁気抵抗膜と、前記磁気抵抗膜近傍に配置される導体線と、前記磁気抵抗膜の一つの磁性層の磁化方向を一方向に配向させる磁化固定層とを有する磁気抵抗効果メモリにおいて、前記磁気抵抗膜の二つの磁性層を再生層ならびに情報を記録するメモリ層として用いて、前記導体線に電流を流し、前記メモリ層に記録されている情報の再生を行なう方法において、前記導体線に正負いずれか一方向のみの電流を流し、前記磁気抵抗膜の領域に前記一方向の電流による一方向の電流磁場を発生させ、前記再生層の磁化を前記一方向の電流により発生した磁場の方向に配向させ、前記磁場が印加された状態における前記磁気抵抗膜の抵抗値と前記磁場が印加されていない状態における前記磁気抵抗膜の抵抗値との差異である磁気抵抗変化を検出して、記録された情報の再生を行なうことを特徴とする再生方法。

【0052】(15) 前記磁場が印加されていない状態において、前記再生層の磁化が前記磁気抵抗膜の近傍に設けられた前記磁化固定層の磁化方向に配向されることを特徴とする項(12)に記載の再生方法。

【0053】(16) 項(13)、(14)または(15)のいずれか1項に記載する再生方法に従い、磁気抵抗効果メモリに記録される情報の再生を行なうために用いる一方向の電流を供給する手段と磁気抵抗変化を検出する手段とを組み立てる特徴とする再生装置。

【0054】

【発明の実施の形態】本発明のMRAMにおいては、従来は、記録情報の再生時にワード線に流す電流をパルス的に電流の印加方向を正負に切り替える手段を用いているが、それに代えて、再生層の磁化反転に、磁化固定層と、磁気抵抗膜近傍に配置される導体線にプラス側もしくはマイナス側のパルス電流のみを印加する手段とを組み合わせている。

【0055】以下図面を用いて、この本発明のMRAMについて、その構成ならびに記録情報の再生方法についてより詳しく説明する。

【0056】まず磁化固定層とは、磁気抵抗膜の近傍に配置されるものであり、予め磁界をかけ一方向に配向させた磁性層である。この磁化固定層の機能は、外部磁界を取り去っても所望の保磁力で磁化を有する状況を作り出すことである。磁化固定層の材質や膜厚は、磁気抵抗膜の性質によって適宜選択されるものであり、上述の機能を果たすならば、以下の実施例の構成に限られるものではない。

【0057】磁化固定層は、メモリセルとなる磁気抵抗膜1組に対し空間的近傍に配置するものである。機能は、磁気抵抗膜を構成する磁性膜の磁化容易軸方向に磁界を印加するものであり、あらかじめ外部から磁界をかけて設定した初期化磁界を保持し、信号を再生する電流発生磁場が近似的にゼロの時、再生層となる第1磁性層の磁化方向を一定に保つものである。このため、再生電

流発生磁場が近似的にゼロの時点で、第1磁性層と第2磁性層の磁化方向の関係が平行か反平行かを識別できることになる。つまり、正負いずれか一方の電流を印加することで信号を検出できる。一本の導体線に流す電流の二方向のうち、どちらを正（プラス）とするか、負（マイナス）とするかは任意に決定できる。

【0058】この磁化固定層の作製には種々の方法がある。メモリセルを作製する際に、成膜した磁気抵抗膜の一部を磁化固定層として流用することができる。また、メモリセルの磁気抵抗膜とは別に異なる磁性材料を成膜して、メモリセルに隣接する位置に磁化固定層を設けても良い。この磁化固定層の機能を有する手段としては、例えば特開平10-312514号公報などにおいて開示されているハードディスク記憶装置用の磁気ヘッドにおけるバイアス磁界印加手段を用いてもよい。

【0059】磁化固定層に面内磁化膜のスピニン散乱膜を用いる場合を例にとり、本発明の作用を説明する。図1に、メモリセルの構成の一例を示す。1は基板、11、21、31は第1の強磁性層、12、22、32は非磁性層、13、23、33は第2の強磁性層である。11、12、13を合わせて磁気抵抗膜10が、21、22、23を合わせて磁化固定層20が、31、32、33を合わせて磁化固定層30が形成されている。41はバッファ層、51は導体線を示す。導体線51は磁気抵抗膜10の直上に絶縁層（図示しない）を介して存在し、図1では見易くするために51aと51bに分割して表示している。

【0060】情報の記録・再生時には矢印100の方向に磁化固定層20、磁気抵抗膜10、磁化固定層30の順にセンス電流が流れ、導体線51には矢印101a、101bの方向にワード電流が流れ。磁化固定層20の第1の強磁性層21と、磁化固定層30の第1の強磁性層31は、ともに面内一定方向に磁化されており、その磁化的向きに従って、磁気抵抗膜10の第1の強磁性層11は、その磁化が配向する。情報の記録・再生は、センス電流ならびにワード電流の発生する合成磁界によって、磁気抵抗膜10の第1強磁性層11の磁化方向を変化させることで行われる。

【0061】図1に示す面内磁化膜を用いた磁気抵抗膜10の、メモリセルとなるセンス線方向の長さをL、幅をW、磁化固定層の長さをPとする。Pは、多数のメモリセルが並ぶ場合、次のメモリセルとの間隔に相当する。

【0062】ここで、 $P/L > 2.5$ の範囲に選択するとワード電流を正負の双方向に振らなくても、あらかじめ外部磁界を印加して設定した初期化磁化方向と反対の磁界を発生する正または負電流パルスのみで信号の再生ができる。すなわち、磁気抵抗膜10の第1磁性層11は初期化磁化方向を向いた磁化固定層20及び30に取り囲まれているため、この両者の磁化方向と同じ方向に

従う傾向が強い。例えば、前記の初期化磁化方向が“1”的信号を書き込んだ第2の強磁性層（メモリ層）に対し反平行である時、ワード電流がゼロとなり、磁気抵抗膜10の第1磁性層11（再生層）に印加される電流磁場がほぼゼロになると、反平行な状態で安定することになる。

【0063】従って、初期化磁化方向と反対の磁界を発生する電流パルスの有無で“0”的場合は高抵抗から低抵抗へ、“1”的場合は低抵抗から高抵抗へ変化する。
10 この変化を微分検出すれば高速に“0”と“1”的識別が可能である。

【0064】図1のように、面内磁化膜型のスピニン散乱膜を磁化固定層とする場合、 P/L は2.5より大きいことが必要だが、過大になると信号を記録する際に大きな電流が必要となったり、信号再生マージンが小さくなるという問題が起きる。また、集積度の観点からも小さい方が望ましい。従って、 P/L は50以下とし、より望ましくは、2.5～10の範囲に選択すると良い。

【0065】LとPは、本発明の正負いずれか一方のパルス電流のみを用いる再生方法において、その再生に要する電流量に密接に関係するが、Wは大きくて関わりない。ただし、Wが小さくなると磁化方向はLに平行な成分に限定されるようになるため、再生時における磁化反転のエネルギーが増え、信号再生に必要なワード電流が増える傾向にある。

【0066】この現象に関して図1を用いてさらに詳述する。メモリアレイ全体に対しあらかじめ外部磁界を印加して設定した初期化磁化方向を-X方向とする。従って、何も電流を流さない場合の磁気抵抗膜10、磁化固定層20、30の磁化方向は-X方向である。実際にはセンス電流とワード電流による合成磁界でXY平面上に磁化方向が決まるが、説明を簡略化するためセンス電流が発生する磁界の影響は考えないことにすると、メモリセルの磁化方向は導体線51を流れるワード電流の発生磁界方向102a、102bと磁界の大きさによって土X方向に決められる。

【0067】まず、初めに、従来の再生方法である正負の電流を流す場合を考える。矢印101aの方向にワード電流を流すと発生する磁界は矢印102aの方向になる。第1磁性層11の保磁力より強い磁界を発生すると第1磁性層11の磁化が矢印102aの方向を向く。第1磁性層11は導体線51の下に位置するため、その磁化方向は+X方向である。次に矢印101bの方向にワード電流を流すと矢印102bの方向に磁界が反転し、第1磁性層11の磁化方向は-X方向になる。第2磁性層13の磁化方向は初期化磁化方向とした-X方向のままであるから、ワード電流の変化に応じて第1磁性層と第2磁性層の磁化方向の関係は反平行から平行へと変化する。従って、+X方向、次に-X方向の磁界を発生するワード電流に合わせて観察される抵抗変化は高抵抗から

低抵抗への変化となる。これが“0”的状態である。

【0068】“1”的場合は、“0”と同様に矢印101a, 101bの順にワード電流を流すと、発生する磁界は矢印102a, 102bの順に変化し、第1磁性層11の磁化方向は+Xから-X方向へと変化する。第2磁性層13の磁化方向は“1”では+X方向であるから、ワード電流の変化に応じて磁性層と第2磁性層の磁化方向の関係は平行から反平行へと変化する。従って、観察される抵抗変化は+X方向、次に-X方向の磁界を発生する電流に合わせ低抵抗から高抵抗への変化となる。これが“1”的状態である。

【0069】次に、本発明の再生方法、すなわち、正負いずれか一方のパルス電流による再生について説明する。ワード電流を正負に振らなくても、初期化磁化方向と反対の磁界を発生する電流パルスで信号が検出できることから、+X方向の磁界を発生させるワード電流を流せばよい。それは図1において磁界の向きでいえば矢印102aであり、ワード電流では矢印101aの方向である。

【0070】“0”的場合、第2磁性層13の磁化方向は-X方向である。矢印101a方向にワード電流を流すと+X方向に第1磁性層11の磁化が向く。一方、ワード電流101aを流さない場合は第1磁性層11の磁化方向は周囲を取り囲む磁化固定層20、30の磁化方向が-X方向であるため、両隣の磁化固定層21、31と同じ-X方向である。従って、“0”的時は、ワード電流の有無で高抵抗から低抵抗になる。これは、“0”を表す。

【0071】“1”的場合、第2磁性層13の磁化方向は+X方向である。矢印101a方向にワード電流を流すと+X方向に第1磁性層11の磁化が向く。一方、ワード電流101aを流さない場合は第1磁性層11の磁化方向は両隣の磁化固定層21、31と同じ-X方向である。これは、周囲を取り囲む磁化固定層20、30の磁気的結合が+X方向を向いた第2磁性層13より強いためである。従って、“1”的時は、ワード電流の有無で低抵抗から高抵抗になる。これは、“1”を表す。

【0072】つまり、通常の再生方法では正負の二つの電流パルスを印加して、第1磁性層11の磁化方向を反転させているが、本発明の再生方法では正又は負の電流パルスで一時的に反転されている第1磁性層11の磁化方向を、上記の磁化固定層の作用で元に復元することで、“0”と“1”的信号を読み取ることになる。

【0073】本発明のMRAMにおける再生方法と磁化固定層を設けない従来のMRAMにおける再生方法との差異を磁界-MR比のマイナーラープ図を使ってさらに詳細に説明する。図11は、磁化固定層を設けない場合のマイナーラープで、従来の再生方法に相当する。図11(a)は“0”、図11(b)は“1”を第2磁性層13に記録した状態に相当する。ここで、再生時に加わ

る磁界強度幅±Hは第1磁性層11の保磁力より大きいが、第2磁性層13の保磁力より小さなレベルである。なお、図中両端には、前記の磁界強度±H最大値における各磁性層の磁化状態を矢印で模式的に示す図を付記してある。また、メモリの各層を記号により示してある。マイナーラープには同じく矢印にてヒステリシスの進路方向を表記した。図11(a)の“0”に対して、+H磁界を印加すると第1磁性層11の磁化が反転して両磁性層の磁化方向が反平行になった高抵抗状態(MR大)

10 になる。ここからゼロ磁界へ戻しても残留磁化が残るために、反平行な状態が保たれる。平行な低抵抗状態(MR小)へ戻すには、-H方向へ磁界を発生させる必要がある。一方、第2磁性層13に“1”が記録された状態を考えると、図11(b)に示す通り、-H磁界を印加すると第1磁性層11の磁化が反転し、両磁性層の磁化方向は反平行となるが、その後、平行な状態に戻すためには+H方向の磁界を印加する必要がある。つまり、従来のMRAMは、再生の際に正負双方の電流パルスを用いて±H両方向の磁界を発生させないと、磁気抵抗信号の立ち上がり変化が“0”と“1”で逆転している現象を確認することができないものであった。

【0074】図12に、磁化固定層を設ける本発明のMRAMにおける再生時の磁界-MR比のマイナーラープを示す。+H方向の磁界を発生させる際、図1に示すMRAMでは導体線に矢印101a方向の電流を流す。図12(a)は“0”、図12(b)は“1”を第2磁性層13に記録した状態に相当する。また、図中両端には、前記の磁界強度±H最大値における各磁性層の磁化状態を矢印で模式的に示す図を付記してある。また、メモリの各層を記号により示してある。マイナーラープには同じく矢印にてヒステリシスの進路方向を表記した。本発明のMRAMのマイナーラープでは、磁化固定層20(21, 22, 23)と30(31, 32, 33)の効果により図11と比べ+H方向にシフトする。具体的には、ヒステリシスの中心(図中、点線で示す)が、矢印で示すシフト量+H方向に偏移している。それに伴い、一旦+H方向の磁界印加した後、ゼロ磁界に戻すと、磁化固定層の磁化の作用により第1磁性層11の磁化は元の状態に戻る。すなわち、第2磁性層13に“0”が記録された状態では(図12(a))、+H磁界を印加した後、ゼロ磁界に戻すと、高抵抗から低抵抗(MR大→小)に変化する。第2磁性層13に“1”が記録された状態では(図12(b))、+H磁界を印加した後、ゼロ磁界に戻すと、低抵抗から高抵抗(MR小→大)に変化する。従って、+H方向の磁界を発生する電流パルスのみで、“0”、“1”で信号の立ち上がり方が反転する現象の確認、すなわち記録信号の再生が可能になる。

【0075】図9は、図1に示す構成の本発明のMRAMにおいて、ワード電流による電流発生磁場を近似的に

ゼロとした時の第1磁性層、第2磁性層の磁化状態を模式的に示す断面図である。図9(a)は第2磁性層13に“0”を記録した状態を、図9(b)は“1”を記録した状態をそれぞれ示している。第1磁性層11の磁化方向はいずれも左右から挿む磁化固定層20、30と同じ初期化磁化方向を向いている。この状態から、紙面に対し裏面から表面に向かうパルス状のワード電流を印加すると、その間だけ、第1磁性層11の磁化方向が反転するので、信号再生が可能になる。

【0076】この磁化固定層は図1に示すスピントンネル膜に限られるものではなく、図2の様に磁気抵抗膜とは異なる磁性材料による磁化固定層62、63を用いることも可能である。このような磁気抵抗膜と異なる層構成の磁化固定層を用いる場合には、スピントンネル膜を使う場合と比べ、Pの間隔を詰めることができる。この場合は、Pの長さのスピントンネル膜による磁化固定層20、30と同じ磁化をより少ない体積で有する磁性材料に置き換えることでPを短くすることができ、集積度を向上することが可能である。磁化固定層の長さPと磁気抵抗膜の長さLの関係は、用いる磁性材料や層構成等により、再生の際に用いる正負いずれかのパルス状電流値に応じて適宜調整すれば良い。

【0077】上記の実施形態においては、磁気抵抗膜と磁化固定層が極近傍に接して設けられており、その際の磁気的結合力は交換結合力が支配的になっている。

【0078】以上説明した磁化固定層の作用・機能は、スピントンネル膜に限定されるものではなく他の種類のMRAMに適用した際にも原理的に同じ作用が得られる。例えば、メモリセル構造に面内磁化膜のスピントンネル膜を用いた場合には、図1に示すスピントンネル膜の場合と同様に、図3のようにセンス線の磁化容易軸方向に連続的にスピントンネル膜を残すことで磁化固定層20、30として使うことができる。この場合は、電流が隣接メモリセルに流入するのを防ぐためスペースP1をあけて磁化固定層を設けることが必要である。また、磁化固定層はスピントンネル膜を用いなくても、図4の様に磁気抵抗膜とは異なる磁性材料による磁化固定層62、63を設けてもよい。その際には、図3に示されている長さP2のスピントンネル膜を用いる磁化固定層20、30と同じ作用を、より少ない体積で達成する磁性材料に置き換えることで、長さP2を短くすることができる。それにより、隣接するメモリセルとの間隔(P1+P2+P1)を狭くすることができ、集積度をさらに高めることが可能となる。磁気抵抗膜にスピントンネル膜を用いる構成においても、間隔P1、磁化固定層の長さP2と磁気抵抗膜の長さLの関係は、用いる磁性材料や層構成などにより、再生の際に用いる正負いずれかのパルス状電流値に応じて、適宜調整すれば良い。なお、間隔P1を大きくすると磁化固定層の効果が達成されないため、通常P2>>P1となっている。従って、スピントンネル型に

おける磁化固定層の長さPと同様に、スピントンネル型でも磁化固定層の長さP2が実質的に隣接するメモリセルとの間隔に相当する。

【0079】前記の実施形態においては、磁気的結合力は磁気抵抗膜と磁化固定層の位置関係から静磁結合力が支配的に働いている。

【0080】メモリセルをマトリックス状に配置する際には、磁化固定層は、一つのメモリセルに対してのみ働くものではなく、隣接するメモリセルに対しても同様の効果をもたらす。図10は、スピントンネル膜に別の磁性材料による磁化固定層を設けた他の一例であり、磁気抵抗膜を3×3にメモリアレイ化した構成例を表す。図面上、説明に用いない構成部品に関する符号、名称の表示は省略する。また、説明の都合上、可視化を図る必要があるので、磁気抵抗膜103、203、303上に位置する導体線は省略してある。本来は、磁気抵抗膜103、203、303上にも導体線が導体線701、702と平行に配置されている。例えば、磁化固定層623によって、主に磁気抵抗膜203と202の双方に対してその磁化方向を固定する。さらには、弱いながらも、その周囲にある磁気抵抗膜102、103、302、303に対しても、その磁化方向を固定する作用をもっている。

【0081】本発明のMRAMでは、基板には、Siウエハ、石英、SOI等平坦性の高い非磁性材料基板が用いられる。SOI基板の作製方法はELTRAN法、SIMOX法など各種方式が適用できる。その際、基板表面のSiの結晶方位は(100)が好ましい。

【0082】前記基板上に磁気抵抗膜を形成する際、バッファ層は、第1磁性膜より下面の表面自由エネルギーを調整し、より平坦性の高い界面構造を実現する目的で挿入される。Ta、Cu、Cr等の各種金属やSiN、SiO₂、Al₂O₃等の絶縁体が用いられるが、基板材料と磁気抵抗膜の材料の選び方によっては、挿入しなくてよい。バッファ層の膜厚は、2~10nmの範囲が好適である。これは、成膜方法によっては2nmより薄いと島状成長による膜質不均一の問題があり、一方、10nmより厚いと生産性低下の問題があるためである。

【0083】スピントンネル膜の場合、非磁性層としては導体が用いられる。Cu、Ag、Au、Al、Mg等が用いられるが、より好適にはCuが用いられる。非磁性層の膜厚は、1~10nmの範囲が好適である。これは、成膜方法によって1nm未満では、島状成長によるピンホール発生の恐れがあり、両磁性層の相互作用により磁気抵抗が発現しない場合があり、一方、10nmを超える場合には、両磁性層間の間隔が電子の平均自由行程に対し広すぎてスピントンネル膜の効果が減るため磁気抵抗が小さくなるためである。

【0084】スピントンネル膜の場合、非磁性層としては絶縁体が用いられる。絶縁体としては、Al、Si、

Cu、Mg等の酸化物や窒化物が用いられるが、フェルミ準位が他の磁性層に近いAl酸化物がより好適に用いられる。非磁性層の膜厚は、0.5~5nmの範囲が好適である。これは、成膜方法によって0.5nm未満では、島状成長によるピンホール発生の恐れがあり、両磁性層の相互作用により磁気抵抗が発現しない場合があり、一方、5nmを超える場合には、両磁性層間の間隔が電子の平均自由行程に対し広すぎてトンネリング確率が減るため磁気抵抗が小さくなるためである。

【0085】磁気抵抗膜の構成要素である第1磁性層と第2磁性層の組み合わせは軟磁性材料と硬磁性材料からなり、第1磁性層が軟磁性層、第2磁性層が硬磁性層とする組み合わせのみでなく、第1磁性層が硬磁性層、第2磁性層が軟磁性層とする組み合わせを用いても良い。軟磁性材料は容易に磁化が反転するため再生層として機能する。硬磁性材料は軟磁性材料と比べ、磁化が反転しにくいためメモリ層として機能する。なお、本発明において、軟磁性材料と硬磁性材料の区別は2つの強磁性層間ににおける保磁力の大小関係で定義されるもので、相対的に保磁力が大きいものを硬磁性材料とする。

【0086】また、第1磁性層、第2磁性層とは機能を示すもので、各磁性層自体は單一元素から成る単層の場合もあるが各種合金の多層構造でも良い。例えば、硬磁性材料として機能させるために第1（あるいは第2）磁性層として、厚さ5nmのCoと厚さ30nmのFeMnの二層構造としてピン止めしたものを用いることができる。第1磁性層および第2磁性層としては、Ni、Fe、Co、NiFe、NiFeCo、FeCo、CoFeBといった強磁性材料や、TbFe、TbFeCo、GdFe等のフェリ磁性体が用いられる。これら二磁性層の組成は、その保磁力が異なるよう適宜調整される。第1磁性層、第2磁性層の膜厚は、2~100nmの範囲に選択するのが好適である。

【0087】垂直磁化膜の場合には、磁化の方向は、形状的に最も反磁界が大きい膜面垂直方向を向いており、垂直磁気異方性を示す時点で既に最大の反磁界係数に打ち勝っている。そのため、素子を微細化した場合でもカーリングは発生しにくい。また、面内磁化膜のように、カーリングを防止するため平面的な形状を長方形とする必要もないため、メモリセル部の集積度を向上する上では、垂直磁化膜は面内磁化膜と比べ有利である。

【0088】図13は、強磁性層として垂直磁化膜を用いたスピントンネル構造の構成例を示す図である。図13では、第1磁性層11、非磁性層12、第2磁性層13からなる磁気抵抗膜10に重畠して非磁性層64及び磁化固定層62がある。基板1と磁気抵抗膜10との間には導体線71が、磁化固定層62の上には導体線72があり、それぞれ下部センス線、上部センス線として機能する。信号再生するセンス電流は導体線71、磁気抵抗膜10、非磁性層64、磁化固定層62、導体線72間

を流れる。絶縁膜を介して導体線51があり、電流磁界を磁気抵抗膜近傍で発生するワード線として機能する。第1磁性層11と磁化固定層62とが位置的に近くにあれば、磁気抵抗膜と磁化固定層の積層順は逆であっても構わない。

【0089】図13には、電流磁界が近似的にゼロの状態において、磁化固定層62の働きで、第1磁性層11の磁化方向が同じ向きに固定されている様子を矢印を用いて模式的に表している。磁化固定層62、第1磁性層11、第2磁性層13の中の矢印は、それぞれの磁化方向を示している。信号再生の場合には、導体線51に流すワード電流による磁界と、センス電流による磁界の合成磁界によって第1磁性層11の向きが反転し、第2磁性層の磁化方向との組み合わせにより、“0”、“1”的状態が判断できる。この場合、磁化固定層62と第1磁性層11との間に働く磁気的結合力の大きさは、非磁性層64の厚さを変えることによって調整する。非磁性層64の膜厚は、2nm~20nmの範囲に選択することが好適である。これは、磁化固定層62の材料や膜厚10にもよるが、2nm未満であると、磁化固定層62と第1磁性層11との磁気的結合力が大きくなり過ぎてしまい、第1磁性層11にかかる磁化固定層62の影響が大きくなりすぎて再生に必要なワード電流が増えてしまう。一方、20nmを超えると、磁化固定層62の効果が得られにくいため、磁化固定層62の体積を増やして磁化を大きくしたり、単位体積当たりの磁化が大きい磁性材料に変更する必要があるためである。

【0090】垂直磁化膜を用いた場合にも、膜厚、材料など適宜条件を選択することにより、ワード電流を正負30の双方向に振らなくても、あらかじめ外部磁界を印加して設定した初期化磁化方向と反対の磁界を発生する正または負電流パルスのみで信号の再生ができる。

【0091】第1磁性層/非磁性層/第2磁性層からなる磁気抵抗膜はメモリセルとして機能するが、その接合面積の大きさは用いるプロセスや使用用途に応じて適宜決定される。磁気抵抗膜の面積で規格化した抵抗率は10~5Ωcm²程度なので、メモリセルを駆動するトランジスタのオン抵抗の値（数kΩ）に対し適合する1μm²以下が好適である。

【0092】磁気抵抗膜上の導体線との間に設ける絶縁層には、SiO₂やSiN、Al₂O₃などの無機材料やノボラック樹脂などの有機材料が用いられる。絶縁層の膜厚は、センス線やワード線に印加する電力に対して必要な絶縁耐圧で決まるものであり、5~1000nmの範囲に選択すると好適である。

【0093】情報の書き込みは、スピントンネル膜の場合、センス電流とワード電流の発生する合成磁界により行う。スピントンネル膜の場合、上下センス線のいずれか、もしくは両者に流すセンス電流を使って磁界を発生させてメモリ層の磁化方向を決定することで実現され

る。あるいは、絶縁層を介して設けられたワード電流による磁界を用いてもよい。ワード線を使う場合は、より確実に記録を行うことができる。

【0094】導体線には、A₁やCu、Auなど導電性の高い材料が用いられる。導体線の膜厚は、印加する電流や線幅で決まりものであり、100～1000nmの範囲に選択され、導体線は、情報の記録や再生に用いられる。

【0095】上記の各材料・層に対する加工作業は、フォトリソグラフィーに代表される微細加工パーニング技術で容易に行なうことができる。成膜工程は、蒸着、スパッタリング、MBE等の公知の各種方法が適用できる。

【0096】

【実施例】以下に実施例を挙げて、本発明をより具体的に説明する。なお、以下の実施例は、本発明の最良の実施の形態の一例ではあるものの、本発明は、これら実施例により限定を受けるものではない。

【0097】(実施例1) 図1に、本実施例で用いた本発明のMRAMの構造の一例を示す。図1は、面内磁化膜のスピニ依存散乱型磁気抵抗膜に対し、この磁気抵抗膜と同じ層構成の磁化固定層を設けた構成を示している。1の基板としてSiウエハ、11、21、31の第1の強磁性層としてNi80Fe20、12、22、32の非磁性層としてCu、13、23、33の第2の強磁性層としてCoを用いる。11、12、13を合わせて磁気抵抗膜10が、21、22、23を合わせて磁気固定層20が、31、32、33を合わせて磁気固定層30が形成されている。41のバッファ層としてSiN、51の導体線としてA₁を用いている。導体線51は、磁気抵抗膜10の直上に図示しない絶縁層SiNを介して存在しており、図1では見易くするために51aと51bに分割して表示している。

【0098】素子の加工には、フォトリソグラフィとリフトオフを併用して素子パターンを形成した。図7(a)～(f)は、その加工手順を示す図である。図7(a)と(b)、図7(c)と(d)、図7(e)と(f)は、それぞれ対をなし、各工程毎に、図7(a)、(c)、(e)にその平面図、図7(b)、(d)、(f)が前記平面図中のX-X'線での断面図をそれぞれ示してある。

【0099】まず、図7(a)に示す、長さL+2P、幅Wの素子パターンに成膜をするため、同形状のレジストマスクをフォトリソグラフィで作製する。成膜マスクを設けた基板をスパッタ装置に入れ、成膜する。到達圧力5×10-5Pa以下の条件で、バッファ層41であるSiN、第1磁性層11、21、31であるNi80Fe20、非磁性層12、22、32であるCu、第2磁性層13、23、33であるCoを順次成膜する。その膜厚は、SiNは10nm、Ni80Fe20は10

nm、Cuは5nm、Coは10nmである。ここで、第1磁性層のNi80Fe20は軟磁性材料であり再生層として、第2磁性層のCoは硬磁性材料でありメモリ層として機能する。成膜時には、基板表面方向に同じ磁気異方性を持つよう永久磁石を配置してある。永久磁石の発生する磁界強度は、測定中心で200eとした。成膜後、アセトンで超音波洗浄を行い、レジスト上に堆積している余分な膜をレジストと同時に除去して、リフトオフすることにより、図7(b)に断面形状を示す積層構造が得られる。

【0100】次に、図7(c)に示す平面形状の絶縁膜となるように、レジストマスクをフォトリソグラフィで作製する。マスクを設けた基板をスパッタ装置に入れ、SiNを厚さ350nm成膜する。成膜後、アセトンで超音波洗浄を行い、レジスト上に堆積している余分なSiN膜をレジストと同時に除去して、リフトオフすることにより、図7(d)に断面形状を示す絶縁膜SiNが得られる。

【0101】次に、図7(e)に示す平面形状の導体線51とプロープパットとなるように、レジストマスクをフォトリソグラフィで作製する。マスクを設けた基板をスパッタ装置に入れ、A₁を厚さ400nm成膜する。成膜後、アセトンで超音波洗浄を行い、レジスト上に堆積している余分なA₁膜をレジストと同時に除去して、リフトオフすることにより、図7(f)に断面形状を示す導体線51とプロープパットが得られ、所望の素子が完成する。磁気抵抗膜の両端に接触するよう成膜した100μm角のA₁膜は、磁気抵抗を測定するプロープ針を落とすパッドとして機能する。

【0102】上述した作製方法を用いて、センス線の磁化容易軸方向の長さL、困難軸方向の長さW、及びその周囲に存在する磁化固定層の長さPの組み合わせが異なるサンプルを多數作製した。

【0103】上記のプロセスを経て作製したメモリ素子に対し、アクセス信号を出して素子特性を評価した。センス電流5mAを流し、磁気抵抗膜の抵抗変化を電圧変動としてオシロスコープで捉えた。リード線での残留抵抗やパッド・プロープ間の接触抵抗の影響を排除するため、電圧検出には4端子測定法を用いて、電圧差はオシロスコープの差分機能を使って測定した。ワード線(導体線51)には周期1msの矩形波電流信号を入力し、ワード線信号に応じて発生する磁界と一定なセンス電流による発生磁界との合成磁界で情報の再生、記録を行った。

【0104】図8は、再生時における、ワード線信号と磁気抵抗膜の抵抗変化に相当する電圧変動の測定波形の一例である。L=20μm、W=20μm、P=60μm、P/L=3に選択した素子に対し、センス電流5mA、ワード電流80mAの条件で読み出した“0”と“1”的信号波形を、それぞれ図8(a)、(b)に示

す。上段がセンス電圧（磁気抵抗膜の抵抗変化に相当）、下段がワード電流の時間変化を示す。ワード電流は電流プローブで読み出しており変換係数は、 $100\text{ m A} = 10\text{ mV}$ である。図8中、「1→」で図示したワード電流のゼロレベルよりプラス側のワード電流のみで、記録情報“0”、“1”に合わせてセンス電圧の波形が変化しており、センス電圧の立ち上がりを微分検出することで、“0”、“1”が識別可能となる。

【0105】L, Pの異なる複数種のサンプル（メモリ

P/L	P (μm)	L (μm)	ΔV_s (mV)	再生の可否
0.5	10	20	—	×
1	20	20	—	×
1.5	30	20	—	×
2	40	20	—	×
2.5	50	20	2.2	○
3	60	20	2.2	○
3.5	70	20	2.5	○
4	80	20	2.1	○
4.5	90	20	2.3	○
5	100	20	2.3	○

【0107】（実施例2）図2に、本実施例における本発明のMRAMの他の構成例を示す。図2の素子構成では、面内磁化膜によるスピンドルネル型の磁気抵抗膜に対し、この磁気抵抗膜とは異なった層構成の磁化固定層を設けている。1は基板、11は第1の強磁性層、12は非磁性層、13は第2の強磁性層である。11、12、13を合わせて磁気抵抗膜10が形成されている。41はバッファ層、51は導体線を示す。導体線51は磁気抵抗膜10の直上に絶縁層（図示しない）を介して存在し、図2では見易くするため51aと51bに分割して表示している。磁化固定層62、63が図面X方向に磁気抵抗膜10の側壁に形成されている。このようなサンプルに対し、情報の記録再生は矢印100の方向に磁化固定層62、磁気抵抗膜10、磁化固定層63の順に流れるセンス電流と導体線51を矢印101a、101bの方向に流れるワード電流の発生する合成磁界によって行われる。

【0108】磁化固定層の材料をCoに変更した以外は、実施例1のメモリ素子と同じ材料、膜厚を選択し、

素子）に対し、プラス側の電流のみで信号再生が可能かどうかを比較し、その結果を表1に示す。以上の結果から、P/Lが2.5以上の素子において、プラス側のワード電流のみで信号の再生が可能であることがわかる。従って、これらP/Lが2.5以上のサンプルでは、バイポーラ電源を用いることなく信号の再生が可能である。

【0106】

【表1】

20 スパッタ成膜とリフトオフ工程を組み合わせて、メモリ素子を作製した。実施例1のメモリ素子と異なり、磁化固定層の材料が磁気抵抗膜と異なる材料のため、この磁化固定層形成用のフォトリソグラフィ工程を1回増やす必要がある。

【0109】L, Pの異なる複数種のサンプル（メモリ素子）に対し、実施例1と同様の手法でセンス電流とワード電流を印加して記録再生を行い、プラス側の電流のみで信号が再生可能かどうかの検証を行なった。表2にその結果を示す。強磁性体のCoを磁化固定層に用いる

30 ことで、実施例1の磁気抵抗膜と同じ層構成の磁化固定層を用いる素子と比べ、P/Lが小さくてもプラス側のワード電流のみで信号の再生が可能であることが確認された。従って、磁化固定層の長さPを短くでき、より高い集積度を達成できる構造であることがわかった。磁化固定層に使用する材質や膜厚を適宜調整することで所望の特性を得ることが可能である。

【0110】

【表2】

P/L	P (μm)	L (μm)	ΔV_s (mV)	再生の可否
0.5	10	20	—	×
1	20	20	2.2	○
1.5	30	20	2.3	○
2	40	20	2.2	○
2.5	50	20	2.1	○
3	60	20	2.2	○
3.5	70	20	2.3	○
4	80	20	2.2	○
4.5	90	20	2.1	○
5	100	20	2.2	○

【0111】（実施例3）図3に本実施例における本発明のMRAMの他の構成例を示す。図3に示す素子構成

は、面内磁化膜によるスピンドルネル型の磁気抵抗膜を用い、この磁気抵抗膜と同じ層構成の磁化固定層を設け

た素子構造の一例である。1は基板、11、21、31は第1の強磁性層、12、22、32は非磁性層、13、23、33は第2の強磁性層である。11、12、13を合わせて磁気抵抗膜10が、21、22、23を合わせて磁化固定層20が、31、32、33を合わせて磁化固定層30が形成されている。71、72は導体線を示す。導体線71は第1磁性層11、21、31に、導体線72は第2磁性層13に電気的に接続している。さらに、導体線72の上に絶縁膜を介して導体線72と同方向にワード線を設けている(不図示)。導体線71と72はそれぞれ、下部センス線、上部センス線として働き、センス電流は下部センス線から磁気抵抗膜10を通過して上部センス線に流れる。情報の記録再生は、センス線とワード線に流れる電流が発生する合成磁界によって行われる。

【0112】素子の加工には、フォトリソグラフィとリフトオフを使用した。磁気抵抗膜の磁化容易軸X方向の長さをL、幅をWとし、磁気抵抗膜10と磁化固定層30(ならびに磁化固定層20)とのX方向の間隔をP1、磁化固定層30(ならびに磁化固定層20)のX方向の長さをP2として、各幅Wについて、L、P1、P2の長さを変えたサンプルを多数作製した。

【0113】各材料膜の成膜にはスパッタ装置を用いて、到達圧力 $5 \times 10 - 5$ Pa以下で、導体線71のA1、第1磁性層11、21、31のNi80Fe20、非磁性層12、22、32のAlOx、第2磁性層1

P2/L	P2(μm)	P1(μm)	L(μm)	ΔVs(mV)	再生の可否
0.5	10	0.5	20	—	×
1	20	0.5	20	—	×
1.5	30	0.5	20	—	×
2	40	0.5	20	—	×
2.5	50	0.5	20	7.1	○
3	60	0.5	20	7.2	○
3.5	70	0.5	20	7.5	○
4	80	0.5	20	7.5	○
4.5	90	0.5	20	7.7	○
5	100	0.5	20	7.5	○

【0116】(実施例4) 図4に、本実施例における本発明のMRAMの他の構成例を示す。図4に示す素子構成では、面内磁化膜によるスピントンネル型の磁気抵抗膜に対し、この磁気抵抗膜とは異なった材料からなる磁化固定層を設けている。1は基板、11は第1の強磁性層、12は非磁性層、13は第2の強磁性層である。11、12、13を合わせて磁気抵抗膜10が形成されている。磁化固定層62、63が磁気抵抗膜の側壁X方向に形成されている。71、72は導体線を示す。導体線71は第1磁性層11に、導体線72は第2磁性層13に電気的に接続している。さらに、導体線72の上に絶縁膜を介して導体線72と同方向にワード線を設けている(不図示)。導体線71と72はそれぞれ、下部センス

3、23、33のCo、絶縁膜のSiN、導体線72のAlの各膜を成膜した。膜厚はそれぞれ、導体線71のAlを25nm、第1磁性層のNi80Fe20を25nm、非磁性層のAlOxを1.2nm、第2磁性層のCoを25nm、導体線72のAlを50nm、絶縁膜のSiNを110nmとした。ここで、第1磁性層のNi80Fe20は軟磁性材料であり再生層として、第2磁性層のCoは硬磁性材料でありメモリ層として機能する。非磁性層であるAlOxの作製には、はじめAlをスパッタした後、装置内に酸素を導入して1000Paで125分放置してAlOx酸化膜を形成した。このAlの酸化膜の形成後、所定の到達圧力まで真空排気をして導入された酸素を除き、次のCo膜の成膜を行った。成膜時には、基板表面方向に同じ磁気異方性を持つよう永久磁石を配置してある。永久磁石の発生する磁界強度は、測定中心で200eとした。

【0114】L、P1、P2の異なる複数種のサンプル(メモリ素子)に対し、実施例1と同様の手法でセンス電流とワード電流を印加して記録再生を行い、プラス側の電流のみで信号が再生可能かどうかの検証を行なった。表3にその結果を示す。スピントンネル型の磁気抵抗膜を用いる構成でも、磁化固定層20、30を設け、P2/Lを2.5以上とすることでプラス側の電流のみで信号が再生可能であることを確認した。

【0115】

【表3】

線、上部センス線として働き、センス電流は下部センス線から磁気抵抗膜10を通過して上部センス線に流れれる。情報の記録再生はセンス線とワード線に流れる電流が発生する合成磁界によって行われる。

【0117】素子の加工には、フォトリソグラフィとリフトオフを使用した。磁気抵抗膜の磁化容易軸X方向の長さをL、幅をWとし、磁気抵抗膜10と磁化固定層63(ならびに磁化固定層62)とのX方向の間隔をP1、磁化固定層63(ならびに磁化固定層62)のX方向の長さをP2として、各幅Wについて、L、P1、P2の長さを変えたサンプルを多数作製した。

【0118】磁化固定層の材料をCoに変更した以外50は、実施例3のメモリ素子と同じ材料、膜厚を選択し、

スパッタ成膜とリフトオフ工程を組み合わせて、メモリ素子を作製した。実施例3のメモリ素子と異なり、磁化固定層の材料が磁気抵抗膜と異なる材料のため、この磁化固定層形成用のフォトリソグラフィ工程を1回増やす必要がある。

【0119】L、P1、P2の異なる複数種のサンプル（メモリ素子）に対し、実施例1と同様の手法でセンス電流とワード電流を印加して記録再生を行い、プラス側の電流のみで信号が再生可能かどうかの検証を行なった。表4にその結果を示す。磁化固定層62、63を設け、P2/Lを1.5以上とすることでプラス側の電流のみで信号が再生可能であることを確認した。磁化固定

10

層と磁気抵抗膜の間隔P1が同じ場合、実施例3の磁気抵抗膜と同じ層構成の磁化固定層を用いる素子と比べ、強磁性体のCoを磁化固定層に用いる本実施例では、磁化固定層の長さP2がより小さくてもプラス側のワード電流のみで信号の再生が可能であることが確認される。従って、隣接する磁気抵抗膜間の隔たり（P1+P2+P1）を短くでき、より高い集積度を達成できる構造であることがわかった。磁化固定層に用いる材質や膜厚を適宜調整することで所望の特性を得ることが可能である。

【0120】

【表4】

P2/L	P2(μm)	P1(μm)	L(μm)	ΔVs(mV)	再生の可否
0.5	1.0	0.5	2.0	—	×
1	2.0	0.5	2.0	—	×
1.5	3.0	0.5	2.0	7.2	○
2	4.0	0.5	2.0	6.9	○
2.5	5.0	0.5	2.0	7.5	○
3	6.0	0.5	2.0	7.1	○
3.5	7.0	0.5	2.0	7.5	○
4	8.0	0.5	2.0	7.2	○
4.5	9.0	0.5	2.0	7.3	○
5	10.0	0.5	2.0	7.4	○

【0121】（実施例5）図14に、本実施例における本発明のMRAMの他の構成例を示す。図14は、垂直磁化膜を用いたスピントンネル型の磁気抵抗膜に対し、この磁気抵抗膜を形成する磁性膜とは異なる構成の磁化固定層を設けた素子構造の例を示している。1は基板、11は第1の強磁性層、12は非磁性層、13は第2の強磁性層である。11、12、13を合わせて磁気抵抗膜10が形成されている。この磁気抵抗膜10の第2の強磁性層13上に、磁化固定層62及び非磁性層64が重畳されている。71、72は導体線を示す。導体線71は第2磁性層13に、導体線72は磁化固定層62に電気的に接続している。さらに、磁気抵抗膜10の側面に絶縁膜を介して導体線72と同方向にワード線として機能する導体線51を設けている。導体線71と72はそれぞれ、下部センス線、上部センス線として働き、センス電流は下部センス線から磁気抵抗膜10を通過して上部センス線に流れる。情報の記録再生は、センス線とワード線に流れる電流が発生する合成磁界によって行われる。素子の加工には、通常の半導体製造プロセスを使用した。

【0122】各材料膜の成膜は、スパッタ装置を用いて、到達圧力5×10-5Pa以下で、導体線71のA1、第1磁性層11のGd21Fe79、非磁性層12のAlOx、第2磁性層13のGd21Fe79、絶縁膜のSiN、導体線72のA1、非磁性層64のCu、磁化固定層62のTb26Fe74の各膜を成膜した。膜厚はそれぞれ、導体線71のA1を25nm、第1磁性層

11のGd21Fe79を15nm、非磁性層12のAlOxを2.2nm、第2磁性層13のGd21Fe79を40nm、導体線72のA1を50nm、絶縁膜のSiNを60nm、非磁性層64のCuを5nm、磁化固定層62のTb26Fe74を50nmとした。ここで、第1磁性層11は再生層として、第2磁性層13はメモリ層として機能する。非磁性層12であるAlOxの作製には、はじめA1をスパッタした後、装置内に酸素を導入して1000Paで125分放置してAlOx酸化膜を形成した。このA1の酸化膜の形成後、所定の到達圧力まで真空排気をして導入された酸素を除き、次のGd21Fe79膜の成膜を行った。

【0123】L、Wの異なる複数種のサンプル（メモリ素子）に対し、実施例1と同様の手法でセンス電流とワード電流を印加して記録再生を行い、プラス側の電流のみで信号が再生可能かどうかの検証を行なった。表5に、センス電流1mAとした際の結果を示す。磁化固定層62を設けることで、プラス側の電流のみで信号が再生可能であることを確認した。表5に示す結果は、磁気抵抗膜の平面形状（面積）に依存して、センス電流1mAとした際の信号サイズは、面積に反比例して変化することを表している。

【0124】また、本実施例においては、磁化固定層と磁気抵抗膜との間に、非磁性層としてCuをはさんだ構成をとっているが、この非磁性層は、磁気抵抗膜における、磁化固定層の磁界の大きさを制御するために設けられたものであり、磁化固定層の材料、膜厚を適宜選択す

ることによって、磁化固定層の磁界の大きさを調整し、この非磁性層を省くことも可能である。

【0125】

【表5】

L/W	W (μm)	L (μm)	ΔV S (mV)	再生の可否
1	5	5	412	○
1	10	10	108	○
2	10	20	65	○
1	20	20	23	○
1	30	30	11	○

【0126】

【発明の効果】以上述べたとおり、本発明の効果は、MRAMの再生層の近傍に磁化固定層を設けることで、信号を再生する際の電流磁場を発生させる電流の印可方向を正負に切り替えることなく、プラス側もしくはマイナス側のパルス電流のみで再生が可能になることである。このため、信号検出は、正負いずれか一方のパルス電流を供給するだけですむので、再生専用機においては、従来の再生装置と異なり、バイポーラ電源が不要となる利点を生み、装置の小型化も図られる。結果として、低コスト化が図られ、安価なメモリ装置、それ用の不揮発性固体メモリの提供が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の磁気抵抗膜と同じ層構造の磁化固定層を設けたMRAM（スピンドル型）の構成例を模式的に示す斜視図である。

【図2】磁気抵抗膜のスピンドル型以外の磁性材料からなる磁化固定層を設けたMRAM（スピンドル型）の構成例を模式的に示す斜視図である。

【図3】本発明の磁気抵抗膜と同じ層構造の磁化固定層を設けたMRAM（スピントンネル型）の構成例を模式的に示す斜視図である。

【図4】磁気抵抗膜のスピントンネル膜以外の磁性材料からなる磁化固定層を用いた本発明のMRAM（スピントンネル型）の構成例を模式的に示す斜視図である。

【図5】MRAMの動作原理を説明する模式図であり、(a)はMRAM（スピンドル型）の構成例、(b)、(c)は信号記録、(d)～(g)は信号再生の動作原理を説明する図である。

【図6】CIP構造とCPP構造におけるセンス電流の導通方法を模式的に示す斜視図である。

【図7】実施例1のMRAM（スピンドル型）の作製プロセスを説明する図であり、(a)と(b)はパターン化された磁気抵抗膜の成膜工程、(c)と(d)は絶縁膜の成膜工程、(e)と(f)は導体線とブループ・パッド用金属膜の成膜工程を示す。

【図8】実施例1のMRAM（スピンドル型）における再生時信号波形の一例を示す図であり、(a)は“0”状態、(b)は“1”状態における信号波形を示す。

【図9】実施例1のMRAM（スピンドル型）における、電流磁場H=0における磁化状態を模式的に示す図

10 であり、(a)は“0”状態、(b)は“1”状態を示す。

【図10】実施例4のMRAMをアレイ化した構成を模式的に示す斜視図である。

【図11】従来のMRAMにおける磁界-MR比マイナーループを模式的に示す図である。

【図12】本発明のMRAMにおける磁界-MR比マイナーループの模式的に示す図である。

【図13】本発明の垂直磁化膜によるスピントンネル構造のMRAMの構成を模式的に示す断面図である。

【図14】本発明の垂直磁化膜によるスピントンネル構造のMRAMの一例である、実施例5のMRAMの構成を模式的に示す斜視図である。

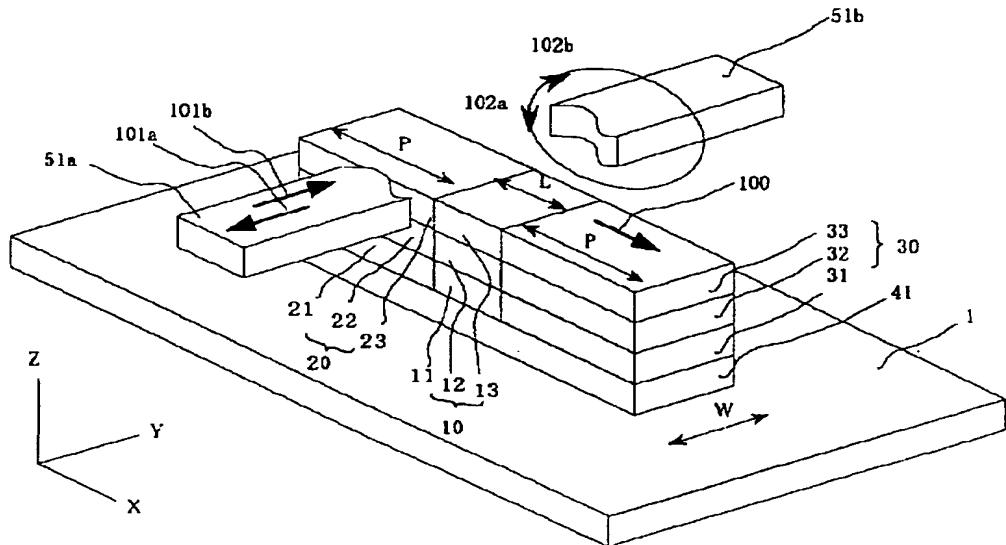
【符号の説明】

- | | |
|------|-----------|
| 1 | 基板 |
| 10 | 磁気抵抗膜 |
| 11 | 第1磁性層 |
| 12 | 非磁性層 |
| 13 | 第2磁性層 |
| 20 | 磁化固定層 |
| 21 | 第1磁性層 |
| 22 | 非磁性層 |
| 23 | 第2磁性層 |
| 30 | 磁化固定層 |
| 31 | 第1磁性層 |
| 32 | 非磁性層 |
| 33 | 第2磁性層 |
| 41 | バッファ層 |
| 51 | 導体線 |
| 62 | 磁化固定層 |
| 63 | 磁化固定層 |
| 64 | 非磁性層 |
| 71 | 導体線 |
| 72 | 導体線 |
| 100 | 磁化の向き |
| 101a | 電流の向き |
| 101b | 電流の向き |
| 102a | 発生する磁界の向き |
| 102b | 発生する磁界の向き |
| 102 | 磁気抵抗膜 |
| 103 | 磁気抵抗膜 |

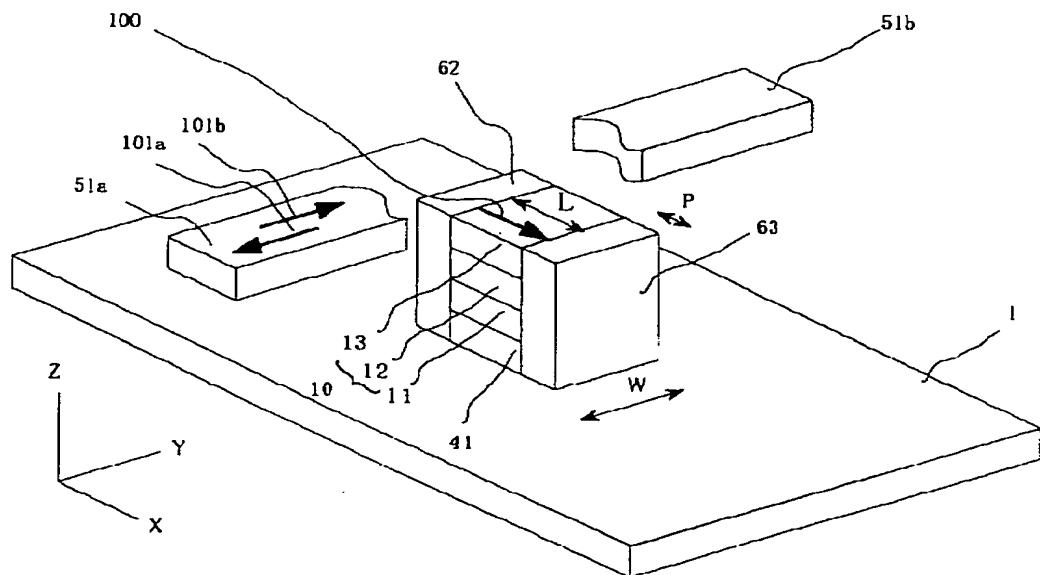
202 磁気抵抗膜
203 磁気抵抗膜
302 磁気抵抗膜
303 磁気抵抗膜

623 磁化固定層
701 導体線
702 導体線

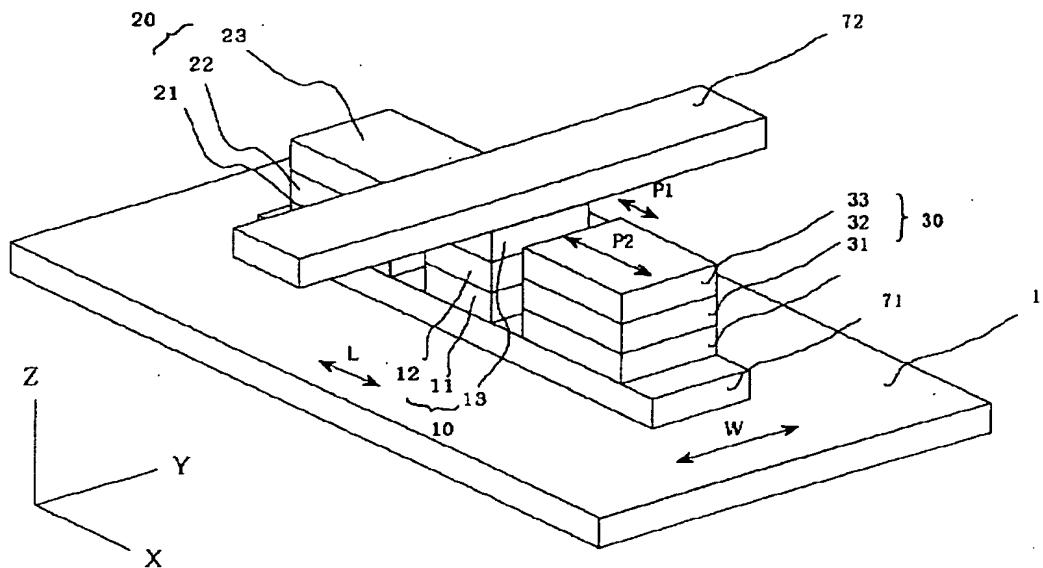
【図1】



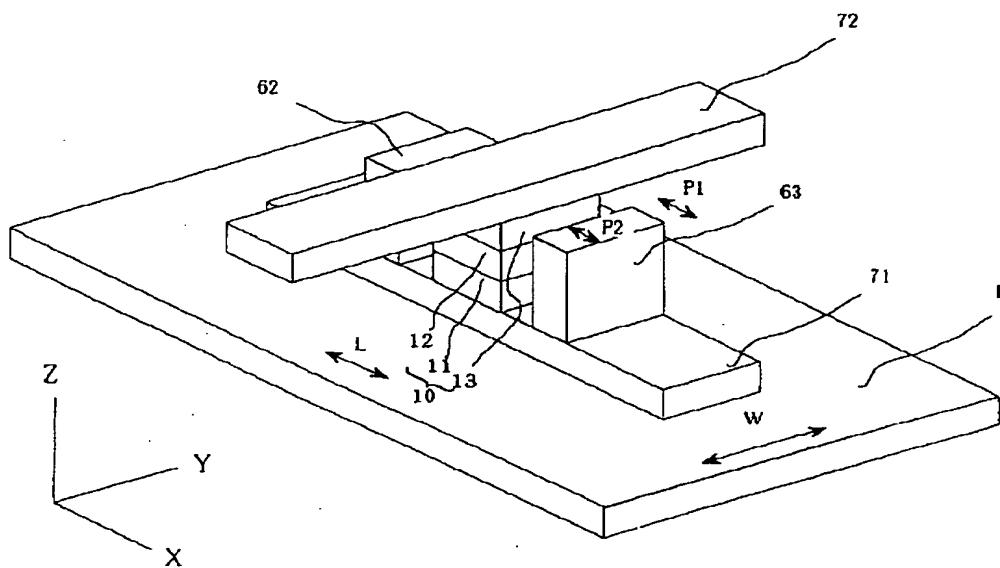
【図2】



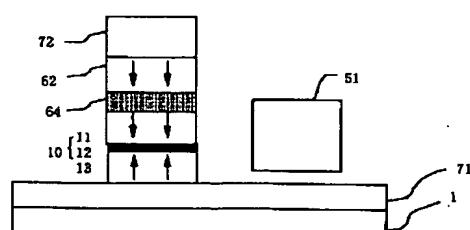
【図3】



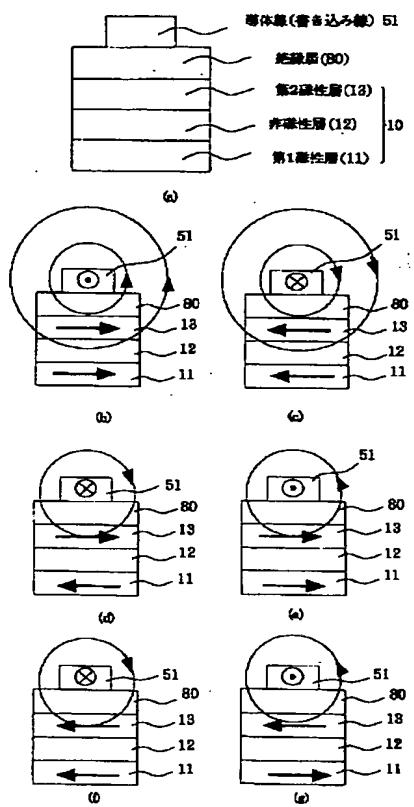
【図4】



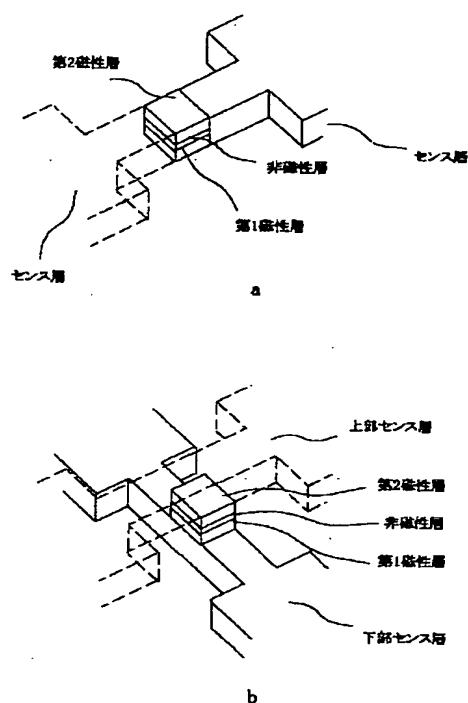
【図13】



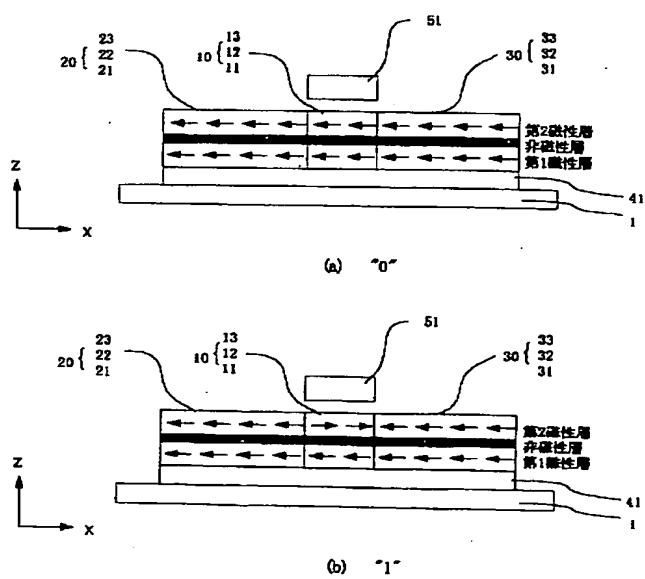
【図5】



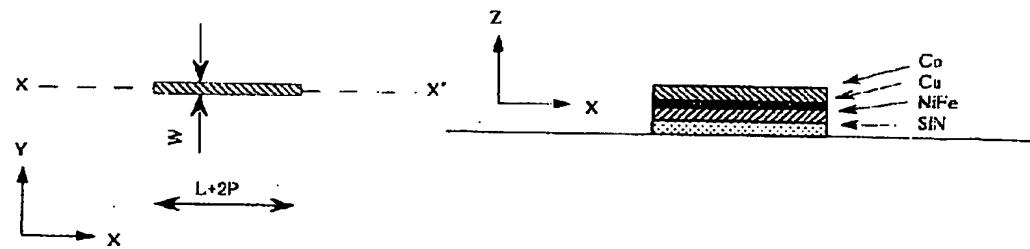
【図6】



【図9】



【図7】



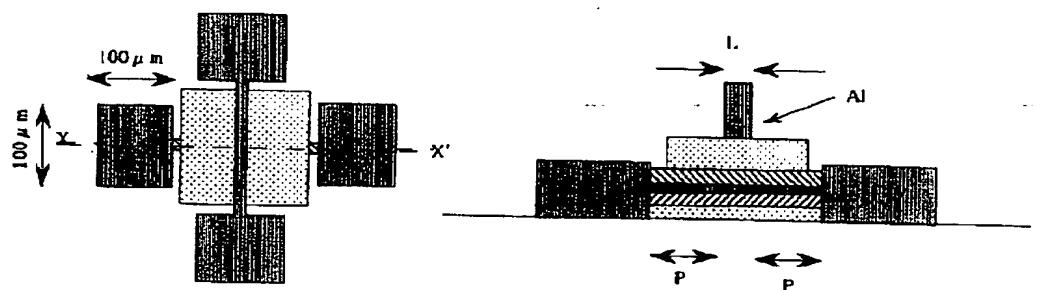
(a)

(b)



(c)

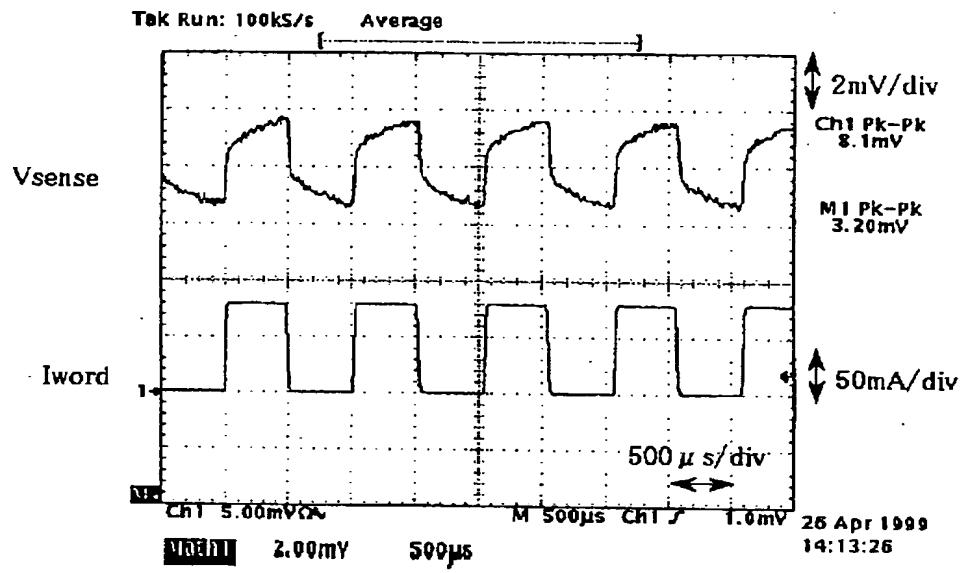
(d)



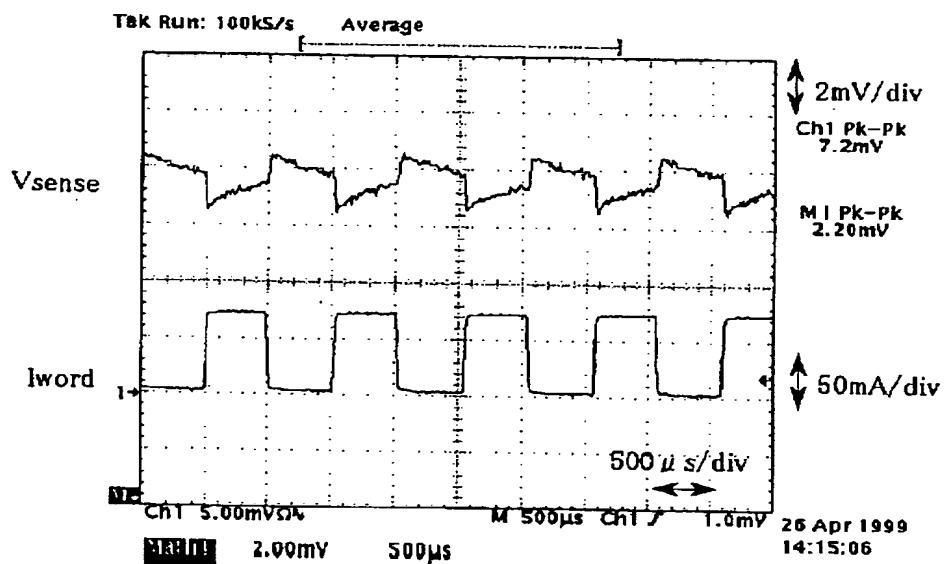
(e)

(f)

【図8】

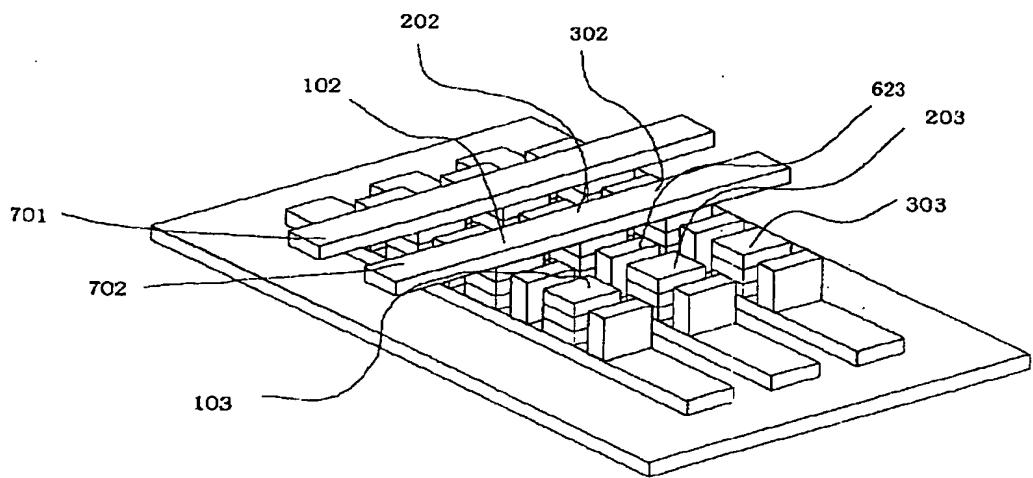


(a)

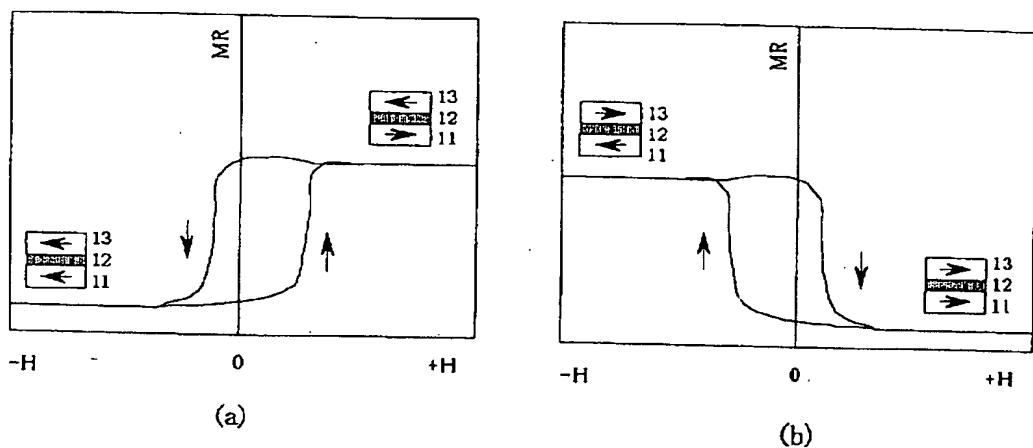


(b)

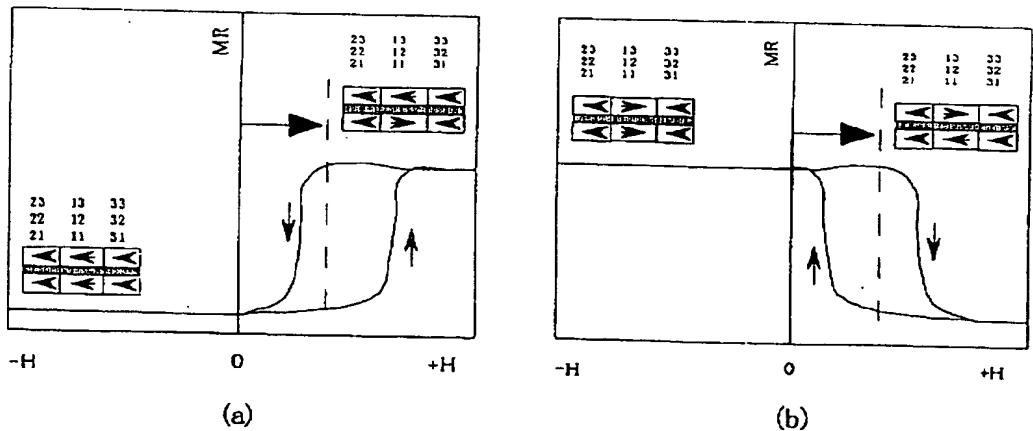
【図10】



【図11】



【図12】



【図14】

